

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra elektroniky**

Koncepce fotovoltaické elektrárny s akumulací

The concept of photovoltaic power plant with accumulation

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra elektroniky

## Zadání bakalářské práce

Student: **Tomáš Batěk**  
Studijní program: B2649 Elektrotechnika  
Studijní obor: 2602R014 Aplikovaná a komerční elektronika  
Téma: **Koncepce fotovoltaické elektrárny s akumulací**  
**The Concept of Photovoltaic Power Plant with Accumulation**

Zásady pro vypracování:

1. Proveďte energetickou bilanci časového rozložení výkonu dodávaného solární elektrárnou.
2. Stanovte velikost energie pro akumulaci za předpokladu rovnoměrných dodávek v průběhu dne.
3. Navrhněte koncepční řešení použitelné pro fotovoltaickou elektrárnu s akumulací.

Seznam doporučené odborné literatury:

Dle pokynů vedoucího závěrečné práce.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

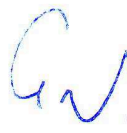
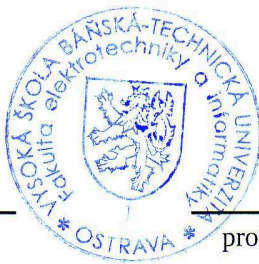
Vedoucí bakalářské práce: **prof. Ing. Petr Chlebiš, CSc.**

Datum zadání: 18.11.2011

Datum odevzdání: 04.05.2012



doc. Ing. Petr Palacký, Ph.D.  
vedoucí katedry




prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
děkan fakulty

### **Prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně bez cizí pomoci. Vycházel jsem při tom ze svých znalostí a doporučené literatury. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne 3. 5. 2012

  
.....  
podpis studenta

## **Poděkování**

Zde bych rád poděkoval panu prof. Ing. Petru Chlebišovi, CSc., vedoucímu mé bakalářské práce, za odborné vedení a veškerou pomoc v celém průběhu zpracování této bakalářské práce.

## Abstrakt

Cílem bakalářské práce je v prvním bodě provést energetickou bilanci vybrané solární elektrárny s ohledem na časové rozložení výkonu během jednotlivých období roku. K určování průměrného výkonu dopadajícího záření je třeba určit nejvhodnější model z ohledem na danou aplikaci a lokalitu.

V druhém bodě je třeba stanovit potřebnou akumulační kapacitu, aby bylo možno pokrýt požadavky sítě během doby, kdy není schopna solární elektrárna dodávat do sítě potřebné množství elektrické energie. A rovněž dostatečně dimenzovat kapacitu, aby bylo možno akumulovat špičkový výkon solární elektrárny v době nejsilnějšího osvětlení, kdy však není po energii ze strany sítě taková poptávka.

V poslední řadě je třeba navrhnout funkční koncepci použitelnou pro fotovoltaickou elektrárnu s akumulací, které by bylo možno použít na území České republiky, nebo v podobných geografických polohách.

**Klíčová slova:** Energetická bilance; fotovoltaická elektrárna; akumulace; sluneční záření; difúzní záření; koncepce; distribuční síť;

## Abstract

The objective of this work is at first point make the energy balance of the selected solar power plant with regard to the timing of individual performance during the year. To determine the average power of incident radiation is necessary to determine the most appropriate model from the view of the application and location.

In the second point, it is necessary to provide the necessary storage capacity in order to meet the requirements of the network during the time when solar power plant is not able to supply the network required amount of electrical energy. And also enough capacity dimension in order to accumulate peak power of solar power plant in the time of strongest irradiation, when is the energy of the network such demand.

The last step is to design a functional concept applicable for photovoltaic power plant with the accumulation which could be used in the Czech Republic, or similar geographic locations.

**Key Words:** Energy balance; solar power plant; storage; solar radiation; diffuse radiation; concept; distribution network;

## **Seznam symbolů a zkratek**

CAES	akumulace energie pomocí stlačeného vzduchu – Compressed Air Energy Storage
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
ČR	Česká republika
DC	stejnoseměrné napětí – Direct Current
GPS	globální poziční systém – Global Position System
GSM	systém pro globální mobilní komunikaci – Global System for Mobile communications
MPPT	sledování maximálního bodu výkonu – Maximum Power Point Tracking
OZE	obnovitelné zdroje energie
PDF	přenosný formát dokumentu – Portable Document Format
PVGIS	fotovoltaický geografický informační systém - Photovoltaic Geographical Information System

## Obsah

<b>1 Úvod:</b>	<b>- 8 -</b>
<b>2 Energetická bilance časového rozložení výkonu dodávaného solární elektrárnou:</b>	<b>- 9 -</b>
2.1 Stanovení dopadajícího slunečního záření:	- 9 -
2.2 Systém použitý pro stanovení časového rozložení výkonu	- 11 -
2.3 Stanovení časového rozložení výkonu během jednotlivých období	- 13 -
2.3.1 Rozložení slunečního výkonu během jednotlivých měsíců	- 13 -
2.3.2 Rozložení slunečního výkonu během dnů v jednotlivých měsících	- 14 -
2.4 Celková energetická bilance v průběhu roku pro fotovoltaický systém o výkonu 1 MW	- 16 -
<b>3 Stanovení velikosti energie pro akumulaci:</b>	<b>- 18 -</b>
3.1 Způsoby akumulace energie	- 18 -
3.1.1 Uchování energie pomocí chemického principu	- 18 -
3.1.2 Uchování energie pomocí fyzikálního principu	- 19 -
3.1.3 Srovnání vlastností akumulátorů	- 20 -
3.2 Stanovení velikosti energie pro akumulaci	- 22 -
3.2.1. Stanovení kapacity akumulátoru pro autonomní systémy	- 22 -
3.2.2. Stanovení velikosti energie pro akumulaci za předpokladu rovnoměrných dodávek	- 23 -
<b>4 Koncepční řešení pro fotovoltaickou elektrárnu s akumulací:</b>	<b>- 25 -</b>
4.1 Koncepce autonomního fotovoltaického systému	- 25 -
4.1.1 Jednotlivé části fotovoltaického systému	- 26 -
4.1.2 Způsob výroby elektřiny fotovoltaickým systémem	- 27 -
4.2 Koncepce fotovoltaického systému s připojením na síť	- 28 -
4.3 Koncepce fotovoltaického systému na principu rozdělení výkonu	- 29 -
4.3.1 Princip rozdělení výkonu fotovoltaického systému	- 29 -
<b>5 Závěr</b>	<b>- 30 -</b>
<b>6 Použitá literatura</b>	<b>- 31 -</b>

## 1 Úvod:

V současnosti společně s rozvojem obnovitelných zdrojů energie vzniká kvůli kolísavosti dodávky elektřiny z těchto zdrojů potřeba efektivně kompenzovat rozdíly v dodávce elektrické energie, v závislosti na potřebách rozvodné sítě. Z tohoto důvodu je zapotřebí zabývat se co nejefektivnějším způsobem akumulace elektrické energie, aby mohla být dodána do rozvodné sítě v době kdy je po ní nevyšší poptávka.

Mluvíme-li o fotovoltaické elektrárně, tak je zřejmé, že nevyšší výkon má v době poledne a to především v letních měsících, kdy na území dopadá největší množství slunečního záření. Nejvyšší poptávka po elektrické energii se vyskytuje kolem sedmé hodiny ranní a sedmé odpolední. A tyto špičky je nutné kompenzovat. Aby bylo možno zvyšovat instalovaný výkon elektráren využívajících neregulovatelných zdrojů energie je třeba rovněž kompenzovat negativní účinky těchto zdrojů na distribuční síť.

Při návrhu fotovoltaické elektrárny s akumulací je nutné brát v potaz především účinnost a cenu akumulačního zařízení. Jako nejlepší řešení s ohledem na srovnání cena x výkon stále zůstávají elektrochemické akumulátory, které akumulují energii ve formě chemické energie, a to především akumulátory olověné a nikl-kadmiové, které patří mezi nejstarší a také nejpoužívanější. Pro malé ostrovní systémy je možno rovněž použít Li-ion baterie, které jsou účinnější, menší, ale mnohem dražší. Dalším možným způsobem akumulace je fyzikální princip uchování energie a to přečerpávací vodní elektrárna, nebo způsob založený na principu stlačování vzduchu CAES. Tyto způsoby mají delší náběhovou dobu, ale pro potřeby regulace elektrizační soustavy jsou dostatečné. Takové způsoby akumulace jsou velmi nákladné, proto je jejich využití lukrativní pouze pro velké výkony.

Při konečném návrhu fotovoltaické elektrárny s akumulací je nutné dbát na správné stanovení energetické bilance časového rozložení výkonu a rovněž korektní stanovení velikosti akumulované energie. Velikost těchto složek závisí převážně na geografické poloze elektrárny a použitých technologiích. Při výpočtech musíme počítat se ztrátami na vedení, na měniči napětí, se ztrátami při akumulaci a rovněž na solárním regulátoru. Tyto informace nám umožní správně dimenzovat jednotlivé složky systému tak, aby pro nás byla celková koncepce výhodná.



## **2 Energetická bilance časového rozložení výkonu dodávaného solární elektrárnou:**

### 2.1 Stanovení dopadajícího slunečního záření:

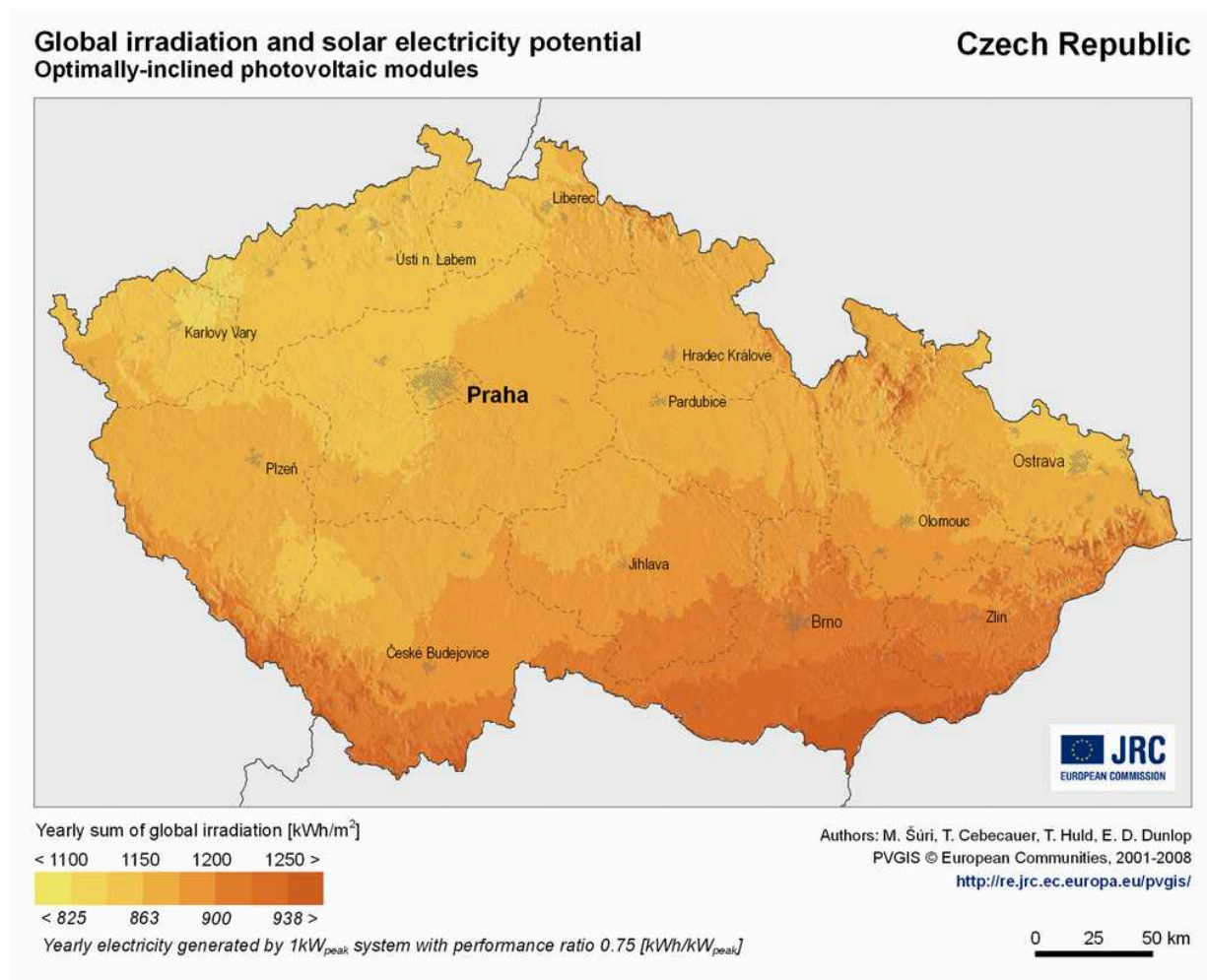
Nejdůležitějším aspektem pro volbu umístění fotovoltaické elektrárny je globální dopadající sluneční záření na zemský povrch. To je složeno z přímého a z difúzního záření. Globálním zářením rozumíme množství celkového slunečního záření dopadajícího za jednotku času na jednotku plochy horizontálního zemského povrchu.

Nejdůležitějším parametrem pro výrobu elektřiny fotovoltaickou elektrárnou je celková energie dopadající na plochu za určité časové období. Z fyzikálního hlediska je pro výkon systému významný celkový součet globálního slunečního záření na vodorovnou plochu na daném místě na zemi za určité časové období. Podstatná období jsou především měsíce v roce a jednotlivé dny, přičemž nás zajímá časové rozložení slunečního záření v těchto obdobích. Údaje o dlouhodobých sumách globálního slunečního záření pořízených z meteorologických stanic jsou měřeny na vodorovné ploše, tudíž je pro účely energetických výpočtů nutné tyto údaje přepočítat s ohledem na orientaci a naklonění dané plochy.

Český hydrometeorologický ústav v současnosti měří globální sluneční záření na jedenácti měřicích stanicích a difúzní záření pouze na čtyřech. Proto je nutné vycházet ze součtů přímého slunečního záření a průměrné hodnoty záření difúzního s ohledem na skutečnou dobu slunečního svitu. Skutečná doba slunečního svitu je zaznamenávána na 79-ti pracovištích na území ČR, což umožňuje značně přesné stanovení odchylek globálního slunečního záření v daném místě. Avšak ČHMÚ zpřístupňuje měřená data pouze z 22-ti stanic. V jednotlivých letech může být odchylka celkového množství dopadající sluneční energie větší než 10 %, což je způsobeno především vlivem oblačnosti. S tímto faktem je nutno při modelování počítat, jelikož v důsledku tohoto vlivu mohou vzniknout značné rozdíly a to především mezi jednotlivými měsíci. [1]

Česká republika se nachází v mírném pásu severní polokoule. Podnebí je označováno jako mírné. V různých částech ČR se podnebí značně liší a to především v různých nadmořských výškách. V oblastech s nadmořskou výškou nad 700 metrů můžeme počítat s 5 % nárůstem globálního záření. Dalším faktorem, značně ovlivňujícím dopadající sluneční záření je znečištění atmosféry. Hodnoty znečištění mohou dosahovat v krajním případě okolo 20 %. Nejvyšší stupeň znečištění je převážně

zaznamenáván v Moravskoslezském kraji. Účinnost fotovoltaických článků je ovlivněna také skladbou světelného záření.



Obr. 2.1 Mapa slunečního záření a elektrického potenciálu na území ČR [2]

Spektrum slunečního záření dopadajícího na vodorovnou plochu je v ČR tvořeno zhruba ze 40 % difúzním zářením. Zbylou část tvoří světlo přímé a z části také odražené. Difúze záření je zapříčiněna rozptylem přímých slunečních paprsků na částech aerosolů, vodních kapek, či ledových krystalů. Energetický potenciál difúzního záření je značně nižší než u záření přímého.

Podle dostupných údajů dopadne na území ČR v průměru asi 950 – 1340 kWh energie na 1 m<sup>2</sup> vodorovné plochy, přičemž roční množství slunečních hodin se pohybuje dle dat z ČHMÚ v rozmezí 1331 – 1844 hodin. S ohledem na využití fotovoltaických článků lze říci, že z plochy 1 m<sup>2</sup> běžného systému lze za rok získat v průměru asi 1050 kWh elektrické energie. Maximální potenciál výroby elektrické energie ze slunečního záření byl stanoven dle Ministerstva pro místní rozvoj v průměru na

80 000 TWh. Tato hodnota je ovšem jen teoretická za předpokladu, že využitelná plocha pro fotovoltaické systémy bude 50 200 km<sup>2</sup>. Když vezmeme v potaz, že se Česká republika rozkládá na ploše 78 864 km<sup>2</sup> je předpoklad energetického potenciálu výhledově nedosažitelný. [3].

## 2.2 Systém použitý pro stanovení časového rozložení výkonu

Pro stanovení výkonu dopadajícího slunečního záření na zemský povrch je možno použít několik různých modelů. Pro příklad jsem vybral několik základních, a to EkoWATT, Metonorm a PVGIS, jejichž metody výpočtu, zdroje dat a výhody si zde popíšeme.

Model EkoWATT k výpočtu využívá data z pozemních stanic ČHMU, což je velmi přesné měření, pokud bereme v potaz dostatečné množství měřících stanic a krátkou vzdálenost od bodu měření. Tento model nepočítá s terénním převýšením, což může způsobit značné rozdíly a to i na dvou nepříliš vzdálených bodech. EkoWATT počítá z průměrnými hodnotami naměřenými za delší časové období, nebo podle průměru posledního desetiletí, což je v současné době období od roku 1998, do roku 2008. [4]

Model Metonorm umožňuje kromě dopadajícího slunečního záření modelovat i další klimatické údaje, jako jsou rychlost a směr větru, teplota a další. Metonorm využívá k měření 34 pozemních stanic na území ČR a rovněž data ze satelitního měření. K určení dopadajícího slunečního záření užívá však jen osm z nich, což není pro přesné stanovení dopadu na našem území vhodné. Jde o komerční model umožňující simulovat klimatické podmínky na všech kontinentech kromě Antarktidy. [5]

Pro co možná nejpresnější kalkulaci výroby elektřiny v daném místě je možno použít informační systém PVGIS, vytvořený výzkumným centrem Evropské komise, který je k dispozici na internetových stránkách centra zcela zdarma. Jedná se o model zaměřen přímo na fotovoltaické aplikace využívající naměřených dat z pozemních stanic a rovněž z satelitních měření.

Mezi jednotlivými výpočetními modely jsou samozřejmě rozdíly ve výsledcích, což je způsobeno především lišícími se metodami výpočtu případně odlišnými zdroji dat. Tyto odchylky ovšem nepřekračují hodnotu 5 %, proto jsou srovnatelné s přesností měření dopadajícího záření, z čehož lze usoudit, že jednotlivé modely jsou shodné. [6]

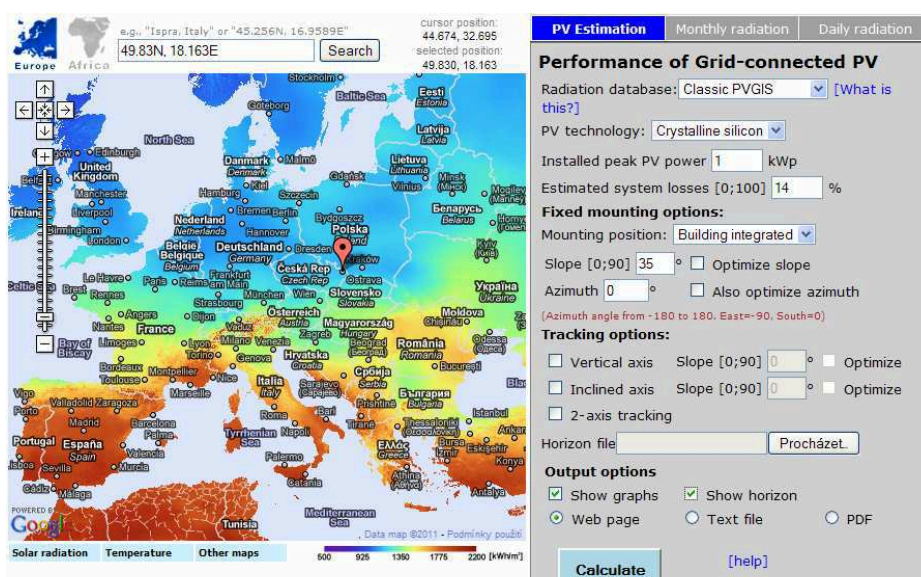
		EkoWATT	Meteonorm	PVGIS
Praha	dopadající energie [kWh/m <sup>2</sup> ]	1216	1124	1150
	odchylka [%]	-5%	3%	1%
Plzeň	dopadající energie [kWh/m <sup>2</sup> ]	1194	1148	1160
	odchylka [%]	-2%	2%	1%
Zlín	dopadající energie [kWh/m <sup>2</sup> ]	1219	1141	1200
	odchylka [%]	-3%	4%	-1%
Ústí nad Labem	dopadající energie [kWh/m <sup>2</sup> ]	1110	1081	1130
	odchylka [%]	0%	2%	-2%
Mohelnice	dopadající energie [kWh/m <sup>2</sup> ]	1240	1124	1170
	odchylka [%]	-5%	5%	1%

Tab.2.1 Výsledky modelů pro různé lokality pro plochu se sklonem 35° a orientací na jih.[6]

Při stanovování výkonů pro jednotlivá období roku byla použita aplikace systému PVGIS, která je k dispozici na webových stránkách <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>. Aplikace má jednoduché ovládání. K volbě místa pro které chceme měření provádět je možno použít interaktivní mapu, nebo je možno do vyhledávacího pole zapsat GPS souřadnice či adresu místa o které se zajímáme a zvolit jednu ze záložek:

- odhad fotovoltaického výkonu - hlavní a nejužitečnější funkce - výpočet výkonu fotovoltaických panelů v daném umístění. Je nutné zadat tyto vstupy: použitá technologie fotovoltaických panelů a jejich špičkový výkon, ztráty v systému, dále pak u pevných panelů jejich umístění, sklon a natočení. A pokud volíme systém s natáčením os, lze zvolit nastavení sledování slunce
- globální záření v rámci měsíců - vypočte hodnoty záření v jednotlivých měsících s možností zobrazit dodatečných informací jako např. průměrná teplota vzduchu
- průměr záření v rámci dnů – vypočte okamžité hodnoty záření dopadající na čtvereční metr během dne v rámci zvoleného měsíce v rozmezí 15 minut

Jednotlivé programy mají možnost volby sklonu a úhlu natočení simulované plochy společně s možností volby mezi statickým fotovoltaickým systémem a systémem s možností natáčení jednotlivých os. Výstup je zobrazován ve formě webové stránky, textového souboru nebo souboru PDF. Tabulky s hodnotami předpokládaného výkonu fotovoltaických panelů jak globálně, tak za jednotlivé měsíce je možné zobrazit taktéž jako grafy, dále máme možnost zobrazení horizontu a výšky slunce v rámci slunečního azimutu a to díky tomu, že model zahrnuje i terénní převýšení.



Obr. 2.2 Aplikace systému PVGIS [7]

## 2.3 Stanovení časového rozložení výkonu během jednotlivých období

Jako místo pro stanovení dopadajícího slunečního záření jsem vybral Moravskoslezský kraj a to bod přibližně mezi Opavou a Ostravou. Přesná poloha je 49°56'30" Severně, 17°53'8" Východně, Nadmořská výška: 269 m. Jako vstupní data jsem ponechal orientaci panelů na jih a úhel sklonu 35°. Dále jsem zadal možnost vyhledání optimálního úhlu.

### 2.3.1 Rozložení slunečního výkonu během jednotlivých měsíců

Měsíc	$Z_h$	$Z_{opt}$	$Z_{(90^\circ)}$	$U_{opt}$	$T_{24h}$
Leden	780	1220	1250	64	-2,2
Únor	1450	2070	1930	57	0,1
Březen	2400	2960	2340	44	3,1
Duben	3610	3980	2620	31	8,9
Květen	4780	4860	2720	20	14,1
Červen	4840	4720	2460	13	16,9
Červenec	5080	5070	2710	17	18,8
Srpen	4240	4550	2800	27	18,4
Září	2800	3340	2480	40	14,0
Říjen	1940	2750	2490	55	9,9
Listopad	886	1310	1280	60	4,2
Prosinec	589	904	925	64	-1,0
Roční průměr	2783	3145	2167	41	8,8

$Z_h$ : záření dopadající na vodorovnou plochu [ $\text{Wh/m}^2/\text{den}$ ]

$Z_{opt}$ : záření dopadající na plochu pod optimálním úhlem [ $\text{Wh/m}^2/\text{den}$ ]

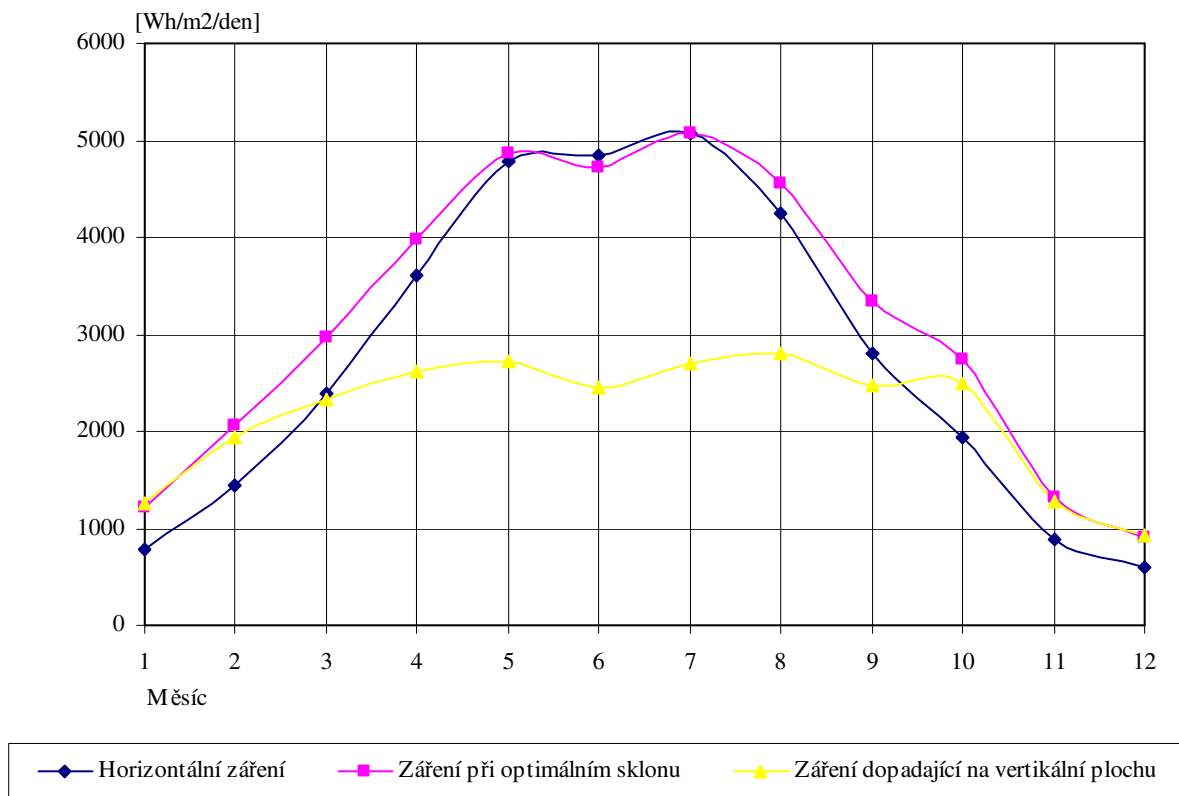
$Z_{(90^\circ)}$ : záření dopadající na plochu o sklonu 90° [ $\text{Wh/m}^2/\text{den}$ ]

$U_{opt}$ : optimální úhel sklonu [°]

$T_{24h}$ : průměrná denní teplota [°C]

Tab.2.2 Záření dopadající na plochu během jednotlivých měsíců. Data:PVGIS

Při určování náhodného měsíčního záření systémem PVGIS byl průměrný optimální úhel sklonu solárního systému stanoven na  $41^\circ$ , což by v daném umístění byl nevýhodnější úhel naklonění solárních panelů.



Graf 2.1 Průběh záření dopadajícího na plochy s různým sklonu v průběhu roku. Data: PVGIS

### 2.3.2 Rozložení slunečního výkonu během dnů v jednotlivých měsících

Z jednotlivých dat denního záření vypočtených programem PVGIS byly vypočteny průměrné hodnoty, které jsou uvedeny v tabulce 2.3. Program pro dané období počítá rovněž s časem východu a západu slunce. Kvůli srovnání byla při zadávání vstupních dat použita možnost výpočtu jak pro statický systém, tak pro systém s možností sledování slunce s dvouosým natáčením panelů. Tabulka obsahuje data pro záření globální, difúzní a záření při nulové oblačnosti.

Měsíc	G	G <sub>d</sub>	G <sub>c</sub>	A	A <sub>d</sub>	A <sub>c</sub>
Leden	148,6	70,1	414,1	178,2	61,6	572,7
Únor	213	99,7	513,6	254,3	92,8	702,5
Březen	262,5	131,3	541,4	309,1	126,2	719,6
Duben	298,7	151,4	547,4	365,2	153,5	754
Květen	326,4	167,3	525,2	416,7	177,3	755,9
Červen	296,2	166,8	493,5	373,4	174,3	717,6
Červenec	329,1	169	508	425	180	765,2
Srpen	328,9	164	532,1	409,2	170,9	731,2
Září	273,2	132,1	498,6	323,9	129,5	648,2
Říjen	270,5	114,5	502,1	330	112,4	668,8
Listopad	151,2	73,5	417,7	176,3	64,1	567,6
Prosinec	116,7	58,7	460,3	136,4	49,1	662,7
Roční průměr	251	125	496	308	124	689

G: Globální záření na pevnou plochu [ $\text{W/m}^2$ ]

G<sub>d</sub>: Difúzní záření na pevnou plochu [ $\text{W/m}^2$ ]

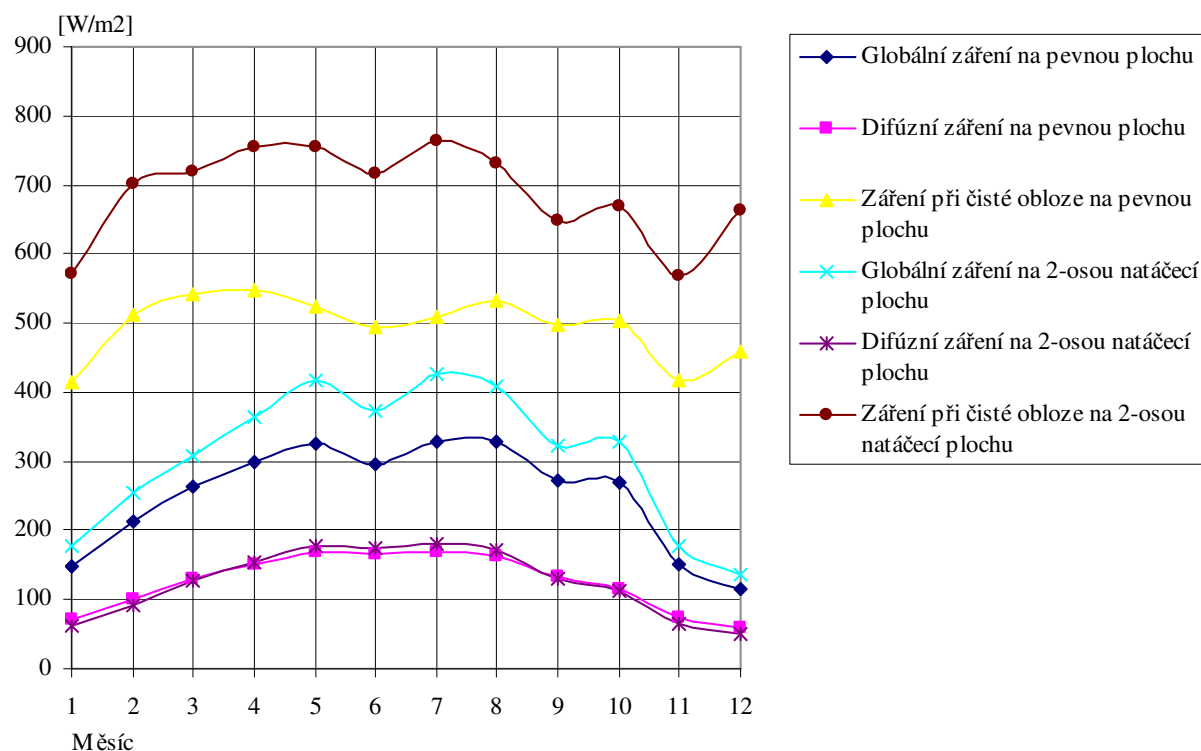
G<sub>c</sub>: Záření na pevnou plochu při nulové oblačnosti [ $\text{W/m}^2$ ]

A: Globální záření na 2-osou natáčecí plochu [ $\text{W/m}^2$ ]

A<sub>d</sub>: Difúzní záření na 2-osou natáčecí plochu [ $\text{W/m}^2$ ]

A<sub>c</sub>: Záření při čisté obloze na 2-osou natáčecí plochu [ $\text{W/m}^2$ ]

Tab. 2.3 Průměrné denní okamžité hodnoty dopadajícího záření na čtvereční metr. Data: PVGIS



Graf 2.2 Průběh okamžitého denního záření dopadajícího na plochu čtverečního metru. Data: PVGIS

Z grafu 2.2 je zřejmé, že systém s dvouosým natáčecím mechanismem umožňujícím sledovat změnu horizontu a azimutu s ohledem na roční období je co se týče příjmu slunečního záření mnohem výhodnější oproti statickému systému.



## 2.4 Celková energetická bilance v průběhu roku pro fotovoltaický systém o výkonu 1 MW

K výpočtu celkové energetické bilance fotovoltaického systému o výkonu 1 MW byla opět použita aplikace PVGIS. Umístění a orientace bylo použito stejné jako v kapitole 2.3. Jedná se o tenkovrstvé články s jmenovitým výkonem 1000 kW. Jako ztráta systému byla zadána hodnota 14%, což by mělo odpovídat ztrátám na vedení a na měniči napětí. Tato ztráta nepočítá se ztrátami na akumulátoru. Aplikace přepočítala přibližné ztráty s ohledem na umístění systému, a to přibližná teplotní ztráta (8 %) a přibližná ztráta při efektu úhlového odrazu (3 %). Celková kombinovaná ztráta byla určena aplikací na hodnotu 23,2 %.

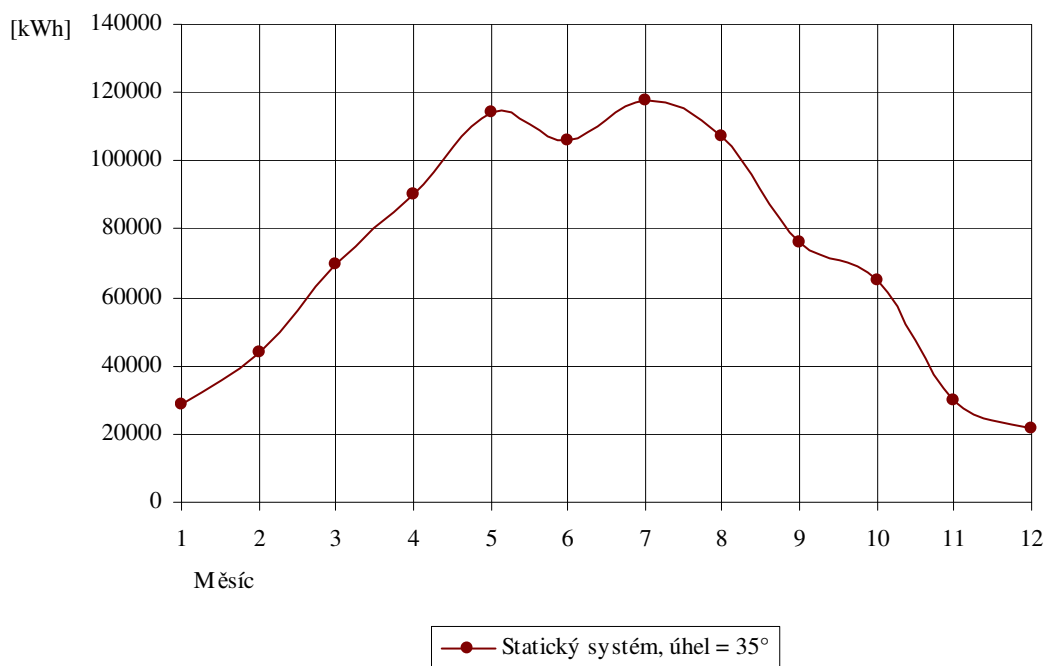
Měsíc	$E_d$	$E_m$	$H_d$	$H_m$	
Leden	932	28900	1,23	38	$E_d$ : Průměrná denní produkce elektřiny daného systému [kWh]
Únor	1580	44200	2,08	58,3	
Březen	2250	69600	2,96	91,9	$E_m$ : Průměrná měsíční produkce elektřiny daného systému [kWh]
Duben	3010	90300	3,98	119	
Květen	3660	114000	4,85	150	$H_d$ : Průměrná denní suma globálního záření na čtvereční metr přijímaná daným solárním systémem [kWh/m <sup>2</sup> ]
Červen	3550	106000	4,70	141	
Červenec	3820	118000	5,05	157	$H_m$ : Průměrná suma globálního záření na čtvereční metr přijímaná daným solárním systémem [kWh/m <sup>2</sup> ]
Srpen	3440	107000	4,54	141	
Září	2530	76000	3,34	100	
Říjen	2100	65100	2,76	85,6	
Listopad	998	30000	1,32	39,5	
Prosinec	690	21400	0,91	28,2	
Roční průměr	2380	72500	3,15	95,8	
Celková roční suma		870000		1150	

Tab. 2.4 Průměrná denní a měsíční produkce fotovoltaického systému.

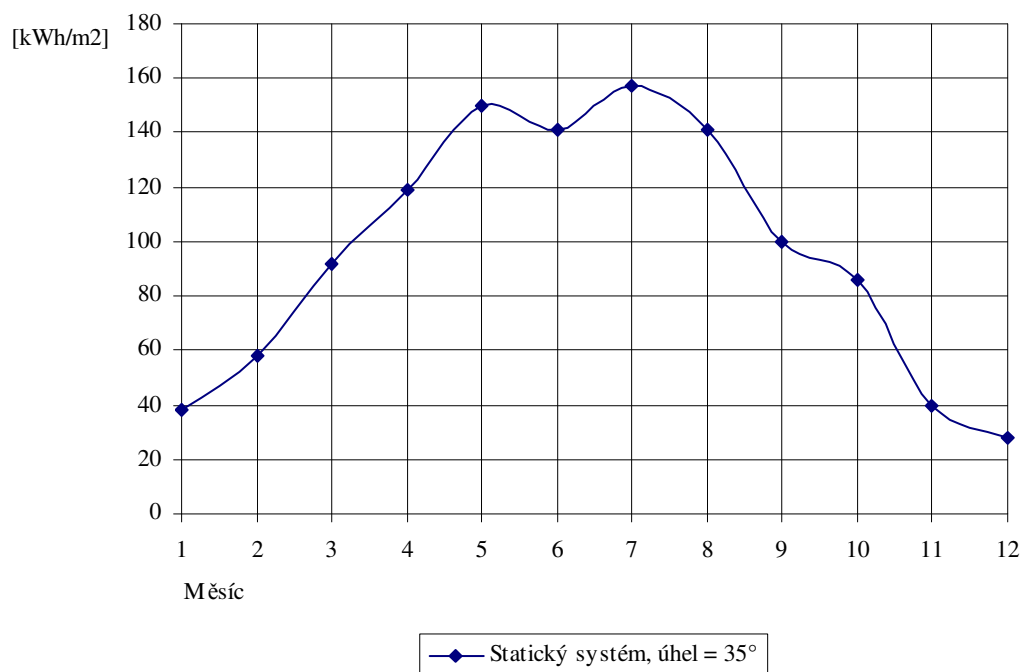
Data: PVGIS

Z tabulky 2.4 je patrné, že celková roční produkce fotovoltaické elektrárny o jmenovitém výkonu 1 MW je přibližně 870 MWh. Nejsilnější průměrné globální záření na metr čtvereční je v období od dubna do září, kdy má rovněž elektrárna nejvyšší produkci elektrické energie. Statisticky nejslabším měsícem je prosinec, kdy celková měsíční produkce dosahuje hodnoty 21,4 MWh, v opačném případě je červenec měsícem s největší průměrnou produkcí elektrické energie a to 118 MWh. Jednotlivé roky se mezi sebou samozřejmě mohou velmi lišit v závislosti na počtu slunečních dní a průměrných teplotách.





Graf 2.3 Výkon v jednotlivých měsících produkovaný statickým fotovoltaickým systémem.  
Data: PVGIS



Graf 2.4 Měsíční záření dopadající na plochu solárních panelů. Data: PVGIS

### 3 Stanovení velikosti energie pro akumulaci:

Pro správný chod fotovoltaické elektrárny s akumulací je potřeba vhodně dimenzovat akumulární zařízení, aby nedocházelo k překročení potřebné kapacity energie. Při výpočtu potřebné kapacity akumulátoru je nutné počítat především s jmenovitým výkonem fotovoltaického systému během jarního a letního období, kdy je zapotřebí akumulovat největší množství energie.

#### 3.1 Způsoby akumulace energie

K akumulaci energie je možno využívat několik různých způsobů. Základními způsoby akumulace energie použitelné pro OZE je akumulace chemická a mechanická.

Tyto způsoby se dále dělí dle principů uchování energie na několik podskupin:

- Chemické principy akumulace
  - olověné a alkalické články
  - články pracující na principu Li- ion
  - průtokové baterie
- Fyzikální principy akumulace
  - CAES – princip založený na stlačeném vzduchu
  - přečerpávací vodní díla
  - setrvačníky

První skupina uchovává energii v chemických vazbách mezi elektrolytem a materiálem elektrod. Ve skupině druhé se k uchování využívá přeměn energie potenciální a kinetické. [8]

##### 3.1.1 Uchování energie pomocí chemického principu

**Olověné akumulátory** patří stále mezi nejznámější a nejrozšířenější druhy akumulátorů. Jedná se současně o nejstarší akumulátory a v současnosti jsou stále více vytlačovány Li- ion bateriemi, v některých oblastech jsou přesto nenahraditelné. Svorkové napětí na jednom článku je 2 V. Jejich značná nevýhoda je malá účinnost a negativní vliv na životní prostředí, tyto nevýhody ovšem kompenzuje nízká cena a vysoká hustota energie i výkonu.

**Nikl-kadmiové** (Ni-Cd), neboli alkalické akumulátory jsou svými vlastnostmi velmi podobné olověným akumulátorům. Napětí článku je 1,2 V. Velmi často se jim podobný typ NiMH používal v přenosných zařízeních.

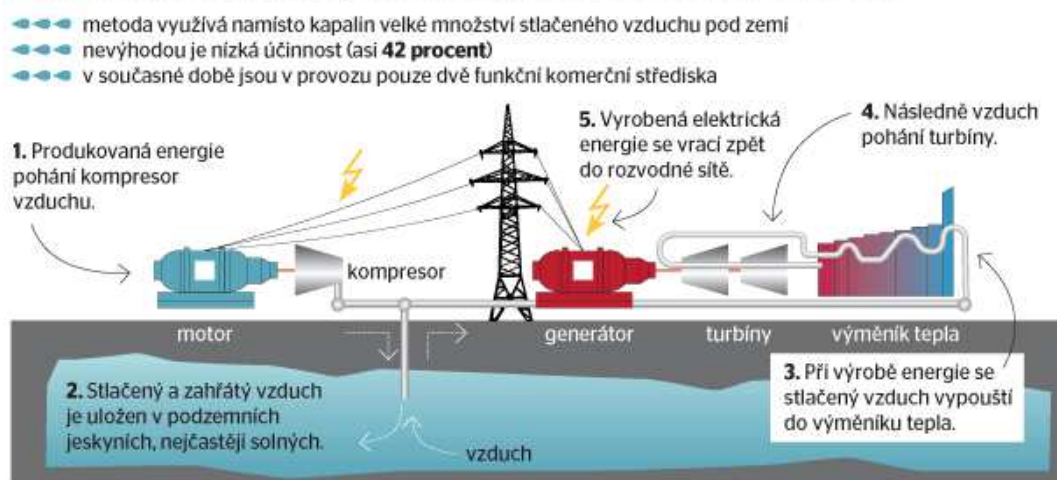
**Lithium-ion** baterie jsou oproti předešlým typům mnohem menší, lehčí a šetrnější k životnímu prostředí. Mají vysokou účinnost a rovněž velkou hustotu energie i výkonu. Jsou nejpoužívanějšími akumulátory v přenosných zařízeních jako jsou mobilní telefony a notebooky. Napětí na svorkách článku je 3,6 V, což se odvíjí od použitého elektrodového materiálu a může se pohybovat od 2 – 4 V. Nedostatkem těchto akumulátorů je vysoká cena a snížení životnosti v důsledku hlubšího vybíjení.

**Průtokové baterie** jsou složeny ze dvou reservoárů naplněných elektrolytem, který proudí elektrochemickým článkem. Svorkové napětí závisí na použitém elektrolytu a pohybuje se v rozmezí 1,4 – 2 V. Tyto baterie mají nízkou hustotu energie, ale velkou kapacitu, proto jsou vhodné pro dlouhodobé zálohování. [8]

### 3.1.2 Uchování energie pomocí fyzikálního principu

**CAES** – jedná se o systém založený na akumulaci energie pomocí stlačeného vzduchu. Vzduch se stlačuje pomocí kompresoru a ukládá se v podzemních kavernách a v případě potřeby je hnán přes turbínu, která je napojena na generátor. Účinnost tohoto systému je dosti malá, asi 42%. A to především z důvodu nutnosti stlačený vzduch před vypuštěním do turbíny ohřát. Toto se provádí převážně pomocí plynových hořáků. Na světě jsou v provozu pouze dvě zařízení tohoto typu a to v německém Huntorfu a ve městě McIntosh v Alabamě. [9]

#### **Skládování energie pomocí stlačeného vzduchu CAES**



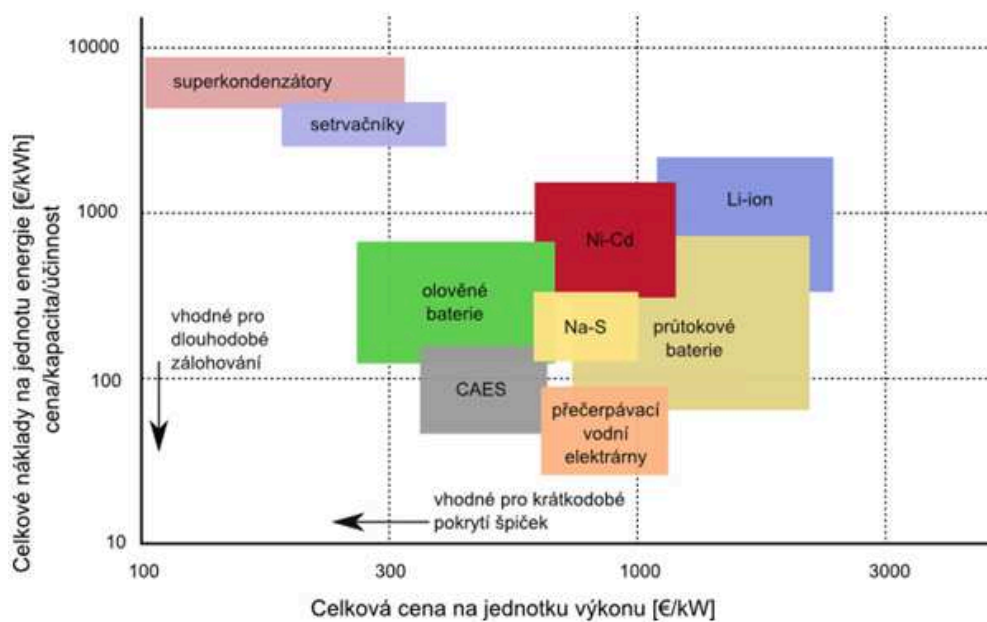
Obr. 3.1 Schéma systému CAES, Autor: Lukáš Rozmajzl [10]

**Přečerpávací vodní elektrárna** je založena na principu uchovávání energie ve formě nakumulované vody. Přečerpávací elektrárna se skládá ze dvou nádrží, horní a dolní. Z dolní nádrže přečerpává v době nízké poptávky po elektrické energii vodu, kterou následně při zvýšené potřebě pouští skrze vodní turbíny zpět do spodní nádrže a tím přeměňuje její energii na elektřinu. Přečerpávací elektrárny jsou vhodné na dlouhodobé uchování energie. Účinnost se pohybuje okolo 75%.

**Setrvačníky** využívají k akumulaci kinetickou energii hmoty rotoru. Setrvačníky existují buďto nízkootáčkové (cca 10 000 ot/min), nebo vysokootáčkové (cca 100 000 ot/min). Množství uložené energie je přímo úměrné momentu setrvačnosti a kvartálu úhlové rychlosti. Jmenovitý výkon setrvačníku závisí především na použité výkonové elektronice, v současné době největší setrvačník poskytuje kolem 1,6 MW po dobu 10 s. Setrvačníky mají velmi krátkou naběhovou dobu a nízkou energii, proto jsou vhodné pro krátkodobou kompenzaci. Jejich využití je vhodné například v hybridních automobilech. [8]

### 3.1.3 Srovnání vlastností akumulátorů

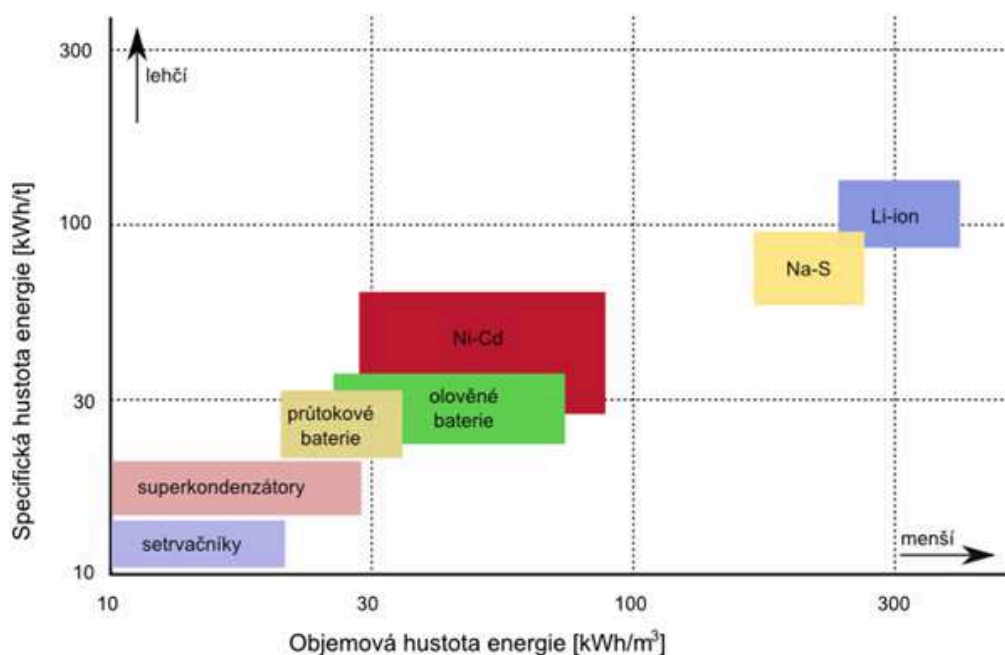
Nejdůležitějším kritériem při volbě akumulačního zařízení je ve většině případů cena. Mezi další aspekty volby může patřit například bezpečnost provozu, nebo ekologie. Při výběru vhodného zařízení musíme znát potřeby dané aplikace a pokusit se k ní volit nevhodnější způsob akumulace.



Obr. 3.2 Poměr nákladů na jednotku energie [8]

Při výběru technologie je nutné znát charakteristické indikátory kterými jsou:

- energetická hustota [Wh/kg]
- měrný výkon [W/kg]
- účinnost [%]
- ztráty [%]
- životnost [cyklů]



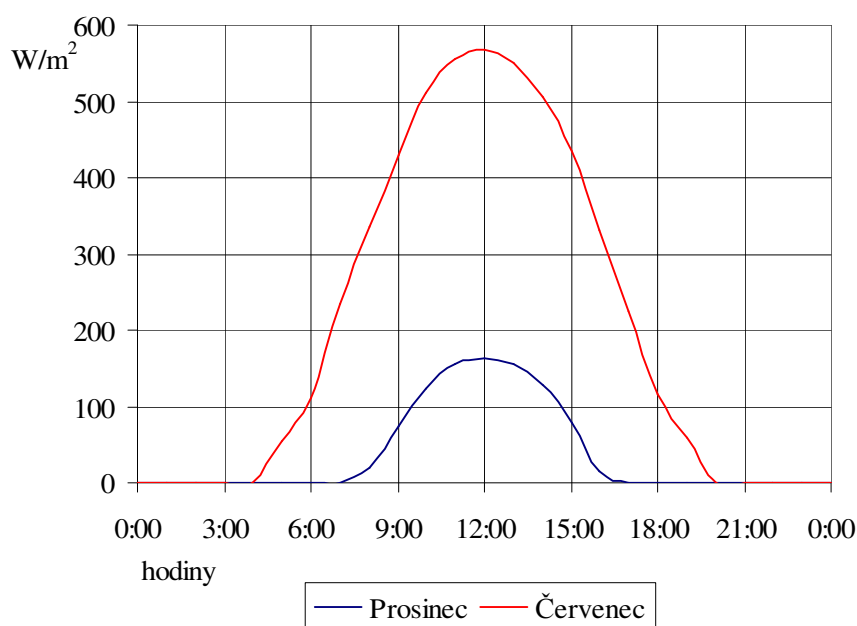
Obr. 3.3 Poměr specifické a objemové hustoty energie [8]

Každý z uvedených principů má své pro i proti, proto je nutné věnovat výběru značnou pozornost a důsledně zhodnotit potřebu dané aplikace. Rovněž je důležité sledovat výzkum nových a stávajících materiálů a technologií a snažit se jich co nejlépe využívat. Existují samozřejmě způsoby akumulace které zde nejsou uvedeny jako například akumulace energie pomocí superkondenzátoru. Jde o poměrně nový způsob akumulace energie jenž je předmětem intenzivního výzkumu a není pro naši aplikaci zcela vhodný. [8]

Pro naši aplikaci je pravděpodobně nejvhodnější chemický princip akumulace a to buď pomocí olovených, nebo nikl-kadmiových článků.

### 3.2 Stanovení velikosti energie pro akumulaci

Potřeba stanovit množství energie pro akumulaci je především z důvodu „uložení“ vyrobené energie v době nejsilnějšího osvětlení a dále pak omezení vlivů jalové energie nebo harmonických složek produkovaných fotovoltaickou elektrárnou, případně přepětí vznikajícího vlivem jejího provozu. S grafu 3.1 je patrný rozdíl mezi prosincem a červencem, což jsou měsíce s nejmenším a největším globálním dopadajícím zářením. Z tohoto důvodu je třeba akumulovat polední špičky především v letních měsících.



Graf 3.1 Srovnání průměrného globálního denního záření. Data: PVGIS [7]

Rovněž je potřeba stanovit kapacitu energie pro autonomní systémy tak, aby nebyla přerušena dodávka elektrické energie v době, kdy elektrárna neprodukuje energii.

#### 3.2.1. Stanovení kapacity akumulátoru pro autonomní systémy

Kapacitu akumulátoru je třeba určit s ohledem na celkový výkon systému a potřebu sítě v době kdy fotovoltaický systém energii nevyrábí, nebo je výroba omezena a to během noci, nebo při zvýšené oblačnosti. Berme v potaz, že kapacita akumulátoru by měla pokrýt dodávku elektrické energie, která je zapotřebí během doby, kdy ji není elektrárna schopna dodávat, což je během letního období asi třináct hodin. Je také potřeba dostatečně dimenzovat systém, aby byl k dispozici dostatečný výkon pro nabití akumulátoru.

$$(3.1) \quad I_p = \frac{P_p}{U_p}; [A]$$

$P$  = výkon panelů,  $U$  = napětí panelů

$$(3.2) \quad C_{aku} = I_p * t; [Ah]$$

$I$  = proud v systému,  $t$  = doba po kterou bude baterie dodávat energii

$$(3.3) \quad C_{bat} = C_{aku} * 1,4; [Ah]$$

$C_{bat}$  = celková potřebná kapacita baterie

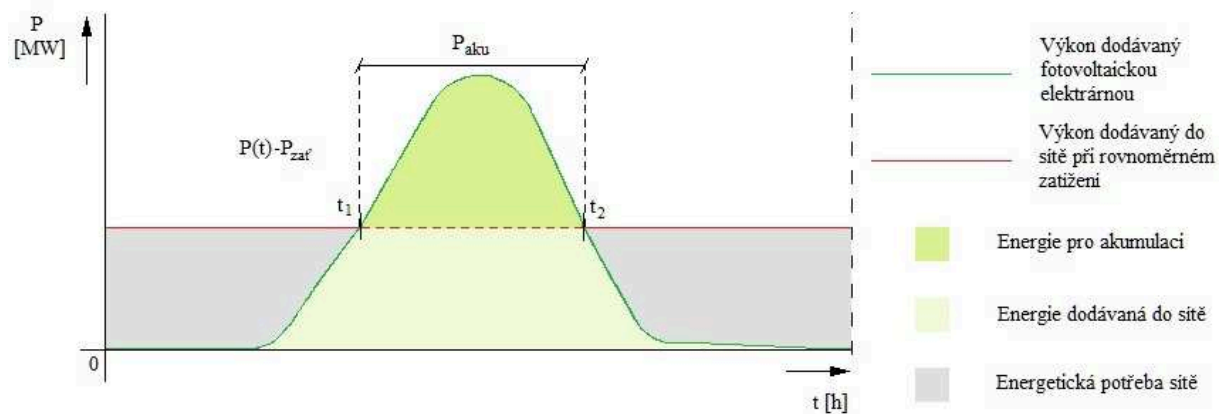
Pomocí vzorce 3.1 vypočteme ze jmenovitých hodnot výkonu a napětí panelů proud vydávaný systémem, z něhož při dosazení do vzorce 3.2 vypočteme teoretickou kapacitu baterie. Výslednou hodnotu je třeba podle vzorce 3.3 přezásobit konstantou 1,4 což je bezpečnostní konstanta s ohledem na stárnutí a postupné snižování kapacity baterie.

Pokud od výkonu panelů odečteme okamžitou zátěž během doby kdy je solární elektrárna v provozu dostaneme kapacitu potřebnou pro akumulaci při rovnoměrných dodávkách během doby kdy elektrárna vyrábí elektřinu. Takovýto způsob výpočtu je použitelný v případě využití chemického akumulátoru, jako je například Ni-Cd baterie. Pomocí výše uvedených vzorců lze vypočítat potřebnou kapacitu, která bude schopná dodávat do sítě stejný výkon jako samotná elektrárna během doby, kdy bude solární systém mimo provoz, nebo bude omezen její výkon. Tento princip je vhodný využít u autonomních systému, kde známe alespoň přibližné denní rozložení spotřeby.

### 3.2.2. Stanovení velikosti energie pro akumulaci za předpokladu rovnoměrných dodávek

Velikost energie pro akumulaci lze určit za předpokladu rovnoměrného denního zatížení  $P_{zat}$  a výkonu dodávaného fotovoltaickou elektrárnou  $P(t)$  tím, že odečteme výkon dodávaný do sítě od výkonu fotovoltaického systému. Kladný údaj nám dává energii pro akumulaci. Tento princip je znázorněn na obrázku 3.4. Celkovou velikost energie určenou pro akumulaci stanovíme s ohledem na velikost energie a časový interval (na obrázku znázorněn průsečíky  $t_1$  a  $t_2$ ) po který je kladná. Velikost akumulované energie v průběhu jednoho dne určíme ze vztahu 3.4

$$(3.4) \quad W_{aku} = \int_{t_1}^{t_2} (P(t) - P_{zat}) dt = P_{aku} \Delta t = P_{aku} (t_2 - t_1); [Wh]$$



Obr. 3.4 Znáznornění velikosti energie pro akumulaci

Akumulátor je třeba dimenzovat s ohledem na den, kdy má fotovoltaická elektrárna vrcholný výkon a intenzita energie pro akumulaci je tudíž největší.

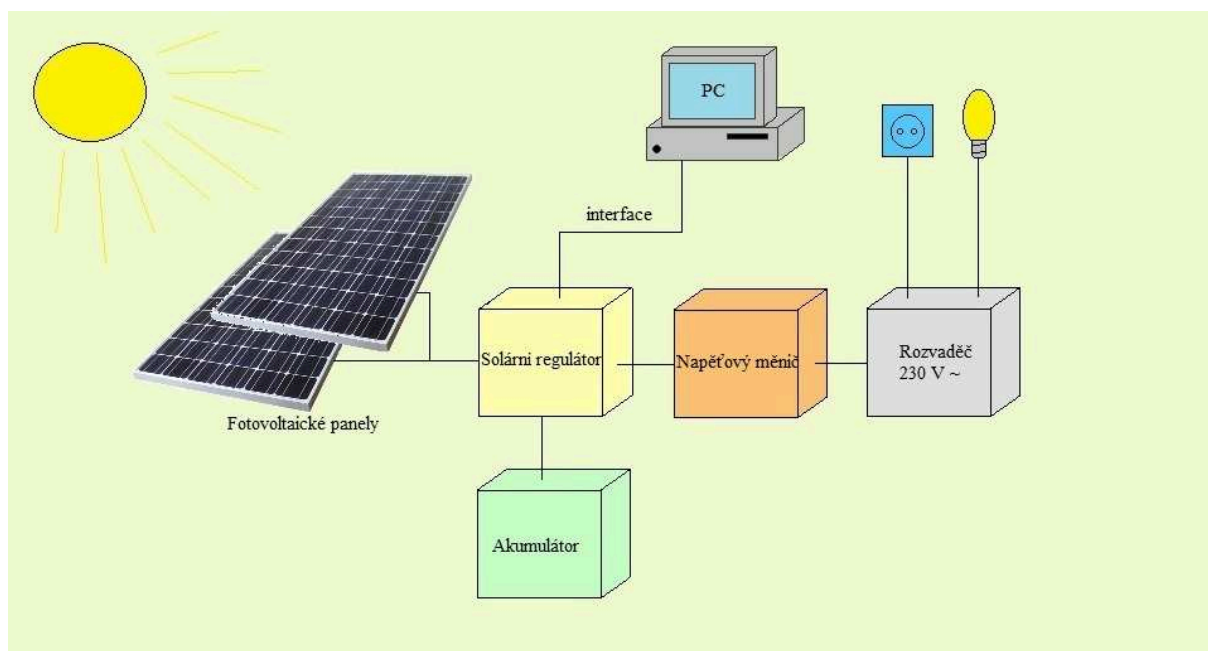


## 4 Koncepční řešení pro fotovoltaickou elektrárnu s akumulací:

### 4.1 Koncepce autonomního fotovoltaického systému

Autonomní systém (off - grid) je systém, který není přímo napojený na distribuční síť. Jeho použití je na místech, kde není k dispozici rozvodná síť a kde nám vzniká potřeba střídavého napětí. Fotovoltaické panely vyrábějí elektrickou energii v průběhu dne a to přibližně od šesté hodiny ranní, do sedmé večerní, pokud počítáme s výrobou během jarních a letních měsíců. Pokud bereme v potaz rovnoměrné zatížení sítě v průběhu dne, musíme zajistit aby byl přebytek energie vyrobené během odpolední špičky, kdy panely přijímají nejvíce energie „uskladněn“ na dobu, kdy nebude možno aby systém energii do sítě dodával. Tento druh systému se obvykle používá v kombinaci s jiným zdrojem energie, jako je například větrná elektrárna, nebo elektrocentrála. Tento způsob spojení nazýváme hybridní systém.

Principiální blokové schéma takového systému je znázorněn na obrázku 4.1. Hlavní části jsou fotovoltaické panely, solární regulátor, akumulátor, napěťový měnič a počítač s uživatelským rozhraním. Máme mnoho možností jaké druhy jednotlivých částí pro daný systém použijeme. A to jak s ohledem na funkčnost a minimalizaci ztrát, tak na bezpečnost a jednoduchost obsluhy. Jistým faktorem volby zařízení může být i finanční návratnost, případně ekologická zátěž.



Obr. 4.1 Přehledové schéma ostrovního systému s akumulátorem.

#### 4.1.1 Jednotlivé části fotovoltaického systému

**Fotovoltaické panely** tvoří základní část všech fotovoltaických systémů. Zjednodušeně máme možnost volby mezi panely první, druhé a třetí generace. Panely první generace využívající jako základ křemíkové desky. Jedná se o nejrozšířenější technologii, jejíž účinnost se pohybuje okolo 18%. Jejich hlavní nevýhodou je relativně vysoká výrobní cena. Hlavně z tohoto důvodu je tato technologie vytlačována druhou generací panelů. Tato generace se vyznačuje mnohonásobně tenčí aktivní absorpční strukturou (thin-film), jejíž nejznámějším typem je takzvaná CIS struktura založena na bázi směsných polovodičů. Tato struktura má nižší účinnost (cca 10%), ale širší možnosti použití, jelikož je možno volit podklad na němž je struktura uložena. Díky této možnosti může být tento typ použit například pro opláštění budov. Články třetí generace jsou stále předmětem výzkumu. Jediné v současné době použitelné články třetí generace jsou články dvou a třívrstvé struktury, z nichž každá vrstva zachycuje určitou část světelného spektra, aby byla co nejvíce využita energie fotonu. [11]

**Solární regulátor** je hlavní a nejdůležitější částí fotovoltaické elektrárny. Na jeho kvalitě závisí celkový výkon solární elektrárny, ale i například životnost akumulátorů. Jednoduchý solární regulátor funguje jako automatická nabíječka akumulátorů. Má také vlastnosti napěťového stabilizátoru, díky čemuž udržuje optimální podmínky pro dobíjení a zamezuje vysokému nabíjení, či hlubokému vybíjení akumulátoru, v jehož důsledku může docházet ke snížení životnosti. V současné době klasický solární regulátor vytlačuje MPPT měnič, ten má implementovaný DC-DC měnič, který mu umožňuje měnit napětí a proud na výstupu aby bylo možno dosáhnout optimálního dobíjení akumulátoru za každých podmínek. Díky tomuto je umožněno dosáhnout maximálního bodu výkonu na volt-ampérové charakteristice. Proto má MPPT měnič daleko menší ztráty (cca 5%) a širší škálu využití. Moderní solární regulátory mají samozřejmě mnoho dalších funkcí jako například dálkové sledování celého fotovoltaického systému, nastavení hloubky vybíjení, nebo různě další definovatelné nastavení. [12]

**Akumulátory** nám slouží k „uložení“ přebytečné energie v době, kdy výrobní výkon převyšuje poptávku. Rozdělení jednotlivých způsobů akumulace je popsáno v kapitole 3.1, proto je zde již není třeba rozebírat. Pro naši aplikaci se nejvíce hodí chemické akumulátory a to především na bázi olova a nikl-kadmia. Principy akumulace jako CAES, nebo přečerpávací vodní díla jsou vhodné pro dlouhodobé uchování a převážně pro systémy velkých výkonů, řádově desítky až stovky megawatt.

**Napěťový měnič** je zařízení, které slouží k přeměně napětí mezi vstupem a výstupem. Máme mnoho druhů měničů napětí které můžeme z hlediska funkčnosti rozdělit do několika základních kategorií, jako jsou usměrňovače, transformátory, DC-DC měniče, měniče frekvence a střídače. V praktickém životě se velmi často setkáváme s různými kombinacemi měničů. Pro aplikaci do

systému fotovoltaické elektrárny je významný převážně střídač, který přeměňuje vstupní stejnosměrné napětí na střídavé napětí na výstupu. V současné době dosahují řízené měniče účinnosti okolo 90%. Tyto střídače jsou řízeny pomocí mikrokontroléru, který řídí celý průběh přeměny a udržuje optimální režim provozu. [13]

**Počítač s uživatelským rozhraním** je „mozek“ celého systému, který skrze uživatelské rozhraní přímá instrukce k řízení systému, jež následně vysílá do solárního regulátoru a ten jakožto akční člen vykonává příslušné příkazy, jako například mění hloubku vybíjení, nebo odpojí solární panely. Další možností využití je neustálý přehled o celkovém stavu systému, vyrobené energii, stavu akumulátorů a podobně. Neměli bychom opomíjet možnost archivace a dálkové zprávy, buďto skrze internet, nebo přes GSM bránu, kdy všechny změny stavu, popřípadě poruchy jsou dle nastavení zasílány na mobilní telefon. Při výběru tohoto druhu zařízení musíme rovněž brát zřetel na využití a potřeby systému, pro něž zařízení vybíráme. Máme možnost výběru od standardního osobního počítače s rozšiřující kartou, až po komplexní průmyslový řídicí systém, pomocí kterého dokážeme sledovat jakékoliv změny s možností bezobslužného provozu. V současnosti je tento „doplňek“ absolutně nezbytný pro jakýkoliv systém tohoto druhu.

**Ochranné prvky** jsou velmi důležité součásti fotovoltaického systému. Patří mezi ně především svodiče přepětí, sloužící jako ochrana proti úderu blesku. Dalšími základními ochrannými prvky jsou jističe a pojistky k ochraně proti zkratovým proudům, jejichž vlivem by mohli být zničeny důležité části panelů a elektroniky jednotlivých částí. Jednotlivé ochranné součástky je potřeba volit s ohledem na použité součásti fotovoltaického systému. V tomto odstavci je třeba zmínit také ochranu elektrárny proti vniknutí cizích osob a to převážně proti odcizení a poškození, jelikož se jedná celkově o velmi drahá zařízení, je třeba tomuto druhu zabezpečení věnovat zvýšenou pozornost. Základním zajištěním proti vniknutí cizích osob je samozřejmě plot, který by měl mít dostatečné dispozice. Dalším a velmi často užívaným druhem zabezpečení je kamerový systém, který má spíše psychologický vliv, než aby skutečně zabránil ve vstupu. V neposlední řadě a také nejúčinnějším způsobem zabezpečení je strážní služba, jedná se však také o nejdražší způsob, který je výhodný převážně pro velké systémy položené na vzdálených místech.

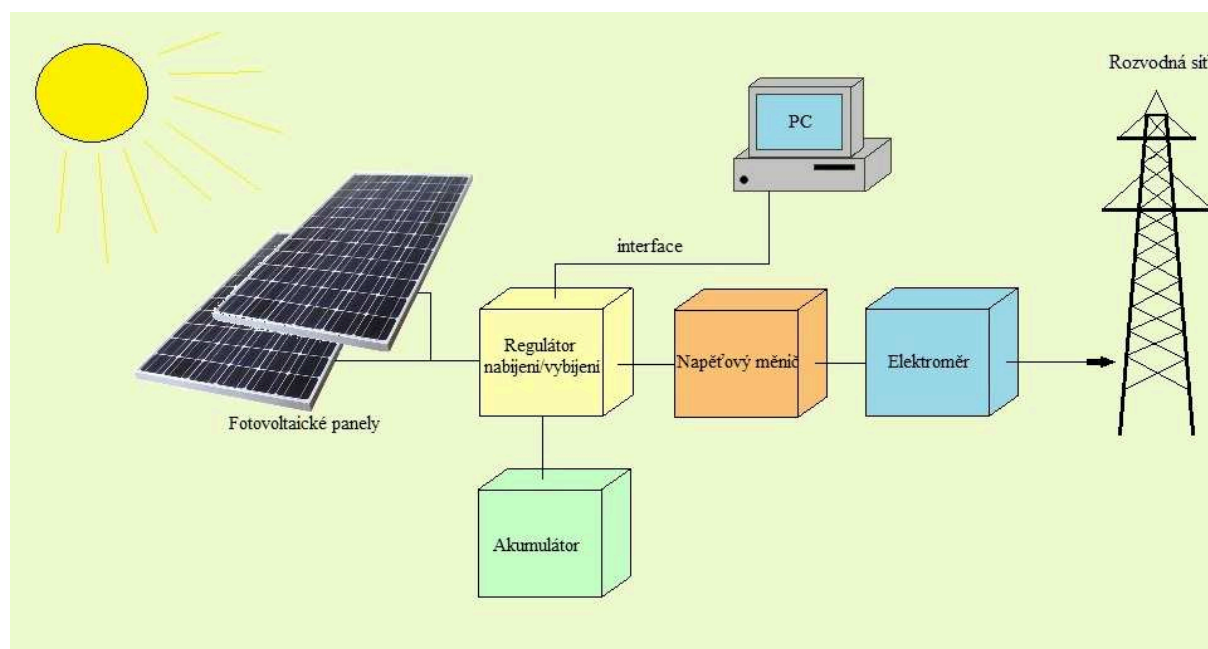
#### 4.1.2 Způsob výroby elektřiny fotovoltaickým systémem

Princip na kterém autonomní systém s akumulací vyrábí elektrickou energii je stejný jako u většiny fotovoltaických systémů. Fotovoltaický panel mění energii slunečního záření na elektrickou. Napětí a proud závisí jak na konstrukci článku, tak na jejich propojení. Pokud propojujeme panely do série, zvyšujeme napětí, paralelně zase proud. Toto napětí je přejímáno MPPT měničem (v této

kombinaci je výhodnější zapojovat panely do série, z důvodu snížení proudu a tím i ztrátám na vedení) který napětí stabilizuje a mění ho na potřebnou hodnotu, jak pro nabíjení akumulátoru, tak pro případnou přímou přeměnu ve střídači. Akumulátor je dobíjen skrze solární regulátor do své maximální kapacity, poté je odpojen a vyrobená energie je přímo distribuována střídačem do sítě. V případě zvýšené potřeby sítě v době omezené činnosti systému je energie z akumulátoru odebírána a využívána k pokrytí této potřeby. Na výstupu ze solárního měniče je připojen napěťový střídač, který mění stejnosměrné napětí na napětí střídavé o požadované amplitudě a frekvenci. Na výstupu střídače je již možno připojit běžné spotřebiče. Celý tento proces přeměny může být monitorován a řízen počítačem, případně řídicí jednotkou, připojenou skrze komunikační rozhraní (možno použít ethernet, CAN, RS485...), a tímto mít celý průběh přeměny pod kontrolou s možností dálkového řízení.

#### 4.2 Koncepce fotovoltaického systému s připojením na síť

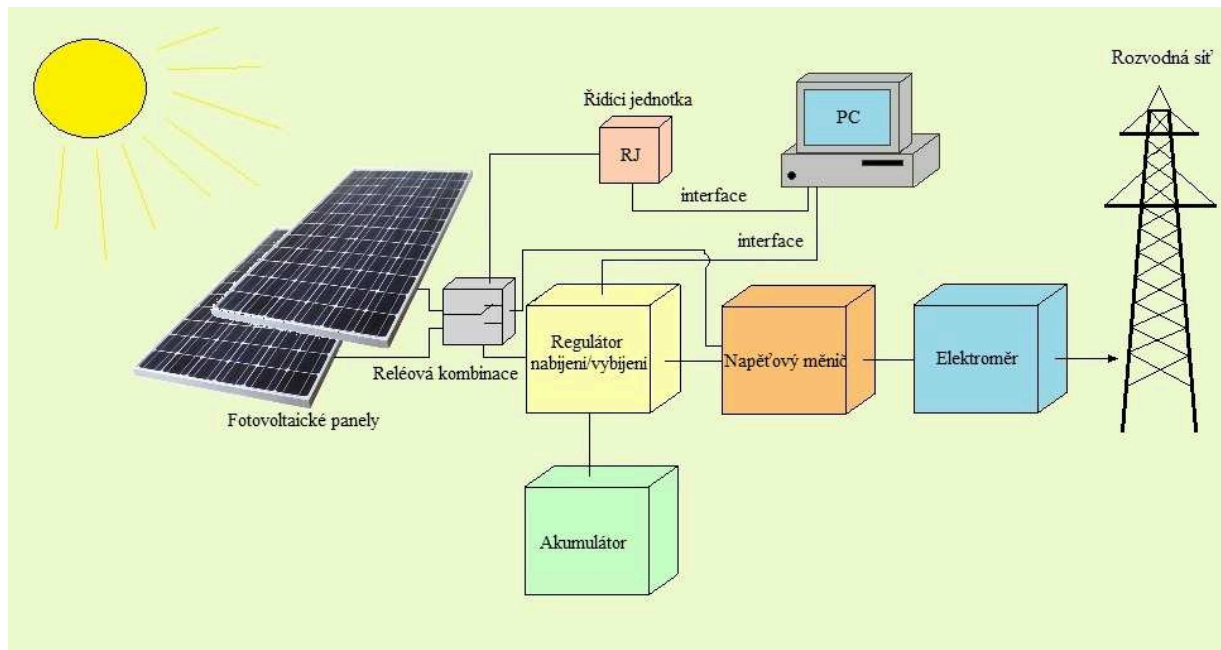
Tento způsob řešení je velmi podobný autonomnímu systému s tím rozdílem, že místo přímého připojení spotřebičů je připojen skrze elektroměr do rozvodné sítě (on - grid). Tato koncepce počítá s přímou dodávkou elektrické energie do distribuční sítě. Velmi důležitou součástí této koncepce je samozřejmě certifikovaný elektroměr. Ten měří množství energie dodané fotovoltaickým systémem do distribuční sítě, z důvodu finančního vyrovnání mezi provozovatelem distribuční sítě a výrobcem elektrické energie.



*Obr. 4.2 Přehledové schéma fotovoltaické elektrárny s akumulací s připojením na síť.*

#### 4.3 Koncepce fotovoltaického systému na principu rozdělení výkonu

Toto koncepční řešení počítá s rozdělením pole fotovoltaických panelů na poměrnou část s ohledem na množství dopadajícího slunečního záření. To znamená, že například v zimním období by byl všechen výkon převáděn do distribuční sítě, naopak v letním období by řekněme 40% výkonu bylo přímo distribuováno a zbylých 60% by se akumulovalo a využívalo v době zvýšené poptávky.



Obr. 4.3 Přehledové schéma fotovoltaické elektrárny s rozdělením výkonu.

##### 4.3.1 Princip rozdělení výkonu fotovoltaického systému

Změna poměru je řízená řídicí jednotkou s digitálními reléovými výstupy na principu reléové kombinace. Díky tomu je možno za pomoci kalibrovaného fotovoltaického článku pro měření určit okamžitou hodnotu dopadajícího záření a z ohledem na okamžitou potřebu sítě měnit poměr mezi přímou dodávkou do distribuce a výkonem posílaným do akumulátoru. Účinnost tohoto principu je závislá na zvolené řídicí jednotce, programovém řešení a kvalitě přepínacích relé. Dalším faktorem ovlivňujícím účinnost tohoto principu je způsob rozdělení solárního pole. S ohledem na způsob řízení je vhodné dělit pole do kvadrantů procentuálně shodných. Kupříkladu pole o celkovém jmenovitém výkonu 10 000 kW rozdělit na kvadranty po 100 kW, což je možno řídit způsobem 0 – 100%. Tímto způsobem lze relativně přesně vyrovnávat potřeby distribuční sítě.

## 5 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo vytvořit koncepci pro fotovoltaický systém s akumulací elektrické energie s ohledem na akumulaci špičkového výkonu, kterého fotovoltaická elektrárna dosahuje v průběhu letního období, aby bylo možno tuto naakumulovanou energii využít k pokrytí zvýšené potřeby distribuční sítě a během doby, kdy fotovoltaická elektrárna není schopná dodávat do sítě potřebné množství energie. Kompenzovat tyto špičky je užitečné také z důvodů nepříznivých vlivů fotovoltaického systému na distribuční síť.

V prvním bodě byla stanovena energetická bilance pomyslného solárního systému umístěném na území Moravskoslezského kraje, k tomuto jsem využil model výzkumného centra Evropské komise PVGIS. Tento model je dle mého názoru nejvhodnější z hlediska využití pro fotovoltaické systémy. Použitým modelem bylo zjištěno, že nejlepší energetické bilance systém dosahuje v období od dubna do září. Nejvýhodnější oblast pro výstavbu fotovoltaických systémů je jižní Morava, kde dopadá v průměru nejvíce slunečního záření a rovněž se jedná o oblast s nejvyšším počtem slunečních dní v roce.

Následující bod obsáhl možnosti akumulace energie, s nichž nejideálnějším způsobem je stále dle mého názoru akumulace energie v chemických akumulátorech. Ovšem pro mne velmi zajímavým způsobem, jenž se v současné době stále vyvíjí je akumulace na principu stlačeného vzduchu, která v případě uložení a opětovnému využití tepla jež vzniká při stlačování vzduchu dosahuje účinnosti okolo 75%, což je srovnatelné s přečerpávací elektrárnou. Dle mého názoru je možno uvažovat o zahřívání pomocí tepelného čerpadla při zpětné přeměně a teplo vzniklé při stlačování využít například k ohřevu teplé užitkové vody, čímž by možná celková účinnost ještě vzrostla. Tento princip umožňuje dlouhodobé uchování a je vhodný pro velké výkony. V tomto bodě bylo třeba také stanovit množství energie pro akumulaci, čehož jsem docíлил odvozením výpočtu za pomoci znázornění zatížení a výkonu fotovoltaické elektrárny v denním diagramu.

Na závěr bylo třeba vytvořit celkovou koncepci pro fotovoltaický systém s možností akumulace. Pro mne je nejzajímavějším řešením princip dělení výkonu fotovoltaického pole. Jedná by se o zcela automatický způsob řízený pomocí vstupních veličin a to především měřícím fotovoltaickým článkem a požadavkem sítě. Nevýhodou je především potřeba předimenzovat akumulační zařízení a rovněž potřeba kvalitního řídicího systému, což znamená zvýšení nákladů. Dle mého názoru je tato koncepce zajímavým způsobem jak omezit nepříznivý vliv obnovitelných zdrojů energie na distribuční síť.

Vyvíjí se způsoby akumulace, které dosahují stále vyšší účinnosti a kapacity a rovněž vývoj fotovoltaických systémů jde stále kupředu a proto je třeba se o toto odvětví OZE velmi zajímat.

## 6 Použitá literatura

- [1] *Stanovení dopadající sluneční energie* [online]. EkoWATT, 2008 [cit. 2012-04-07]. Dostupný z WWW: <<http://fotovoltaika.ekowatt.cz/stanoveni-dopadajici-slunecni-energie.php>>.
- [2] *Czech Republic* [online]. European Communities, 2001-2008 [cit. 2012-04-07]. Dostupný z WWW: <<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmaps/eur.htm>>.
- [3] *Historie-Fotovoltaika* [online]. 2009 [cit. 2012-04-07]. Dostupný z WWW: <<http://fotovoltaika.vialoca.com/historie/historie.html>>.
- [4] *EkoWATT* [online]. EkoWATT, 2008 [cit. 2012-04-07]. Dostupný z WWW: <<http://fotovoltaika.ekowatt.cz/ekowatt.php>>.
- [5] *Metonorm* [online]. EkoWATT, 2008 [cit. 2012-04-07]. Dostupný z WWW: <<http://fotovoltaika.ekowatt.cz/metonorm.php>>.
- [6] *Porovnání modelů* [online]. EkoWATT, 2008 [cit. 2012-04-07]. Dostupný z WWW: <<http://fotovoltaika.ekowatt.cz/porovnani-modelu.php>>.
- [7] *PVGIS (c)* [online]. European Communities, 2001-2010 [cit. 2012-04-07]. Dostupný z WWW: <<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>>.
- [8] *Akumulace elektřiny* [online]. 5.9.2011 [cit. 2012-04-07]. Dostupný z WWW: <<http://oze.tzb-info.cz/7435-akumulace-elektřiny>>.
- [9] *Compressed air energy storage* [online]. 16.4.2012 [cit. 2012-04-20]. Dostupný z WWW: <[http://en.wikipedia.org/wiki/Compressed\\_air\\_energy\\_storage](http://en.wikipedia.org/wiki/Compressed_air_energy_storage)>.
- [10] *Skladování energie pomocí stlačeného vzduchu* [online]. 5.9.2011 [cit. 2012-04-20]. Dostupný z WWW: <<http://byznys.ihned.cz/c1-55152770-jak-zabalit-elektřinu>>.
- [11] *Fotovoltaika pro každého* [online]. © Czech RE Agency, 2003 - 2009 [cit. 2012-04-07]. Dostupný z WWW: <<http://www.czrea.org/cs/druhy-oze/fotovoltaika>>.
- [12] *Solární regulátor a MPPT měnič* [online]. 2011 [cit. 2012-04-23]. Dostupný z WWW: <<http://www.solarnimoduly.cz/jaky-solarni-regulator.html>>.
- [13] *Měnič napětí* [online]. 2010 [cit. 2012-04-23]. Dostupný z WWW: <<http://www.menice-napeti.cz>>.